Über die Anwendbarkeit des zweiten Hauptsatzes der Thermodynamik auf Vorgänge im tierischen Organismus.

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der Doktorwürde in der Medizin und Chirurgie

mit Genehmigung der

hohen Medizinischen Fakultät

der

Vereinigten Friedrichs-Universität Halle-Wittenberg

vorgelegt von

Curt Wachtel

aus Berlin.

Verlagsbuchhandlung Julius Springer in Berlin.

1918.

Über die Anwendbarkeit des zweiten Hauptsatzes der Thermodynamik auf Vorgänge im tierischen Organismus.

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der Doktorwürde in der Medizin und Chirurgie

mit Genehmigung der

hohen Medizinischen Fakultät

der

Vereinigten Friedrichs-Universität Halle-Wittenberg

R. UNIV. BIBLIOTHEEK LEIDEN

vorgelegt von

Curt Wachtel
aus Berlin.

Verlagsbuchhandlung Julius Springer in Berlin.
1918.

Gedruckt mit Genehmigung der medizinischen Fakultät der Universität Halle-Wittenberg.

Referent: Professor Dr. Abderhalden.

Schieck, z. Z. Dekan.

Meiner lieben Mutter.

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41534918_0023

§ 1.

Eine Untersuchung über die Anwendbarkeit des zweiten Hauptsatzes der Thermodynamik auf Vorgänge im tierischen Organismus wird manchem überflüssig erscheinen, da ja der zweite Wärmesatz ein allgemein anerkanntes Naturgesetz enthält, dessen allgemeine Gültigkeit billigerweise nicht in Zweifel gezogen werden darf. Demgegenüber sei jedoch darauf hingewiesen, dass der zweite Hauptsatz ein Erfahrungssatz ist, dessen Gültigkeit für das Gebiet derjenigen Vorgänge, die von der exakten Physik behandelt werden, ausser Frage steht; dagegen ist es bisher in keinem einzigen Falle gelungen, die Anwendbarkeit des zweiten Hauptsatzes auf Vorgänge im lebenden Organismus so einwandfrei zu erweisen, wie es einer exakten physikalischen Betrachtungsweise entspricht. Auf Grund zahlreicher Erfahrungen hat sich die Physik von der Anschauung freigemacht, als ob einem Naturgesetz unbedingte Gültigkeit zuzuschreiben sei, vielmehr lässt ein jedes Naturgesetz in gewissen Grenzfällen so weitgehend im Stiche, dass die Festlegung der Grenzen des Bereiches, innerhalb dessen es unbedingt gültig ist, eine der wichtigsten Aufgaben werden kann. Wir werden später zu erörtern haben, welchen Einschränkungen die Gültigkeit des zweiten Hauptsatzes auf dem Gebiete der reinen Physik unterliegt. Zum Beweise dafür, wie wenig die Bedeutung des zweiten Hauptsatzes für das Geschehen im tierischen Organismus klargestellt ist, sei hier folgende Bemerkung von von Smoluchowski[1]) angeführt:

1) M. v. Smoluchowski, Gültigkeitsgrenzen des zweiten Hauptsatzes der Wärmetheorie. Vorträge über die kinetische Theorie der Materie und der Elektrizität. Gehalten in Göttingen auf Einladung der Kommission der Wolfskehl-Stiftung von M. Planck, P. Debye usw. S. 119. Leipzig 1914.

„Ein Perpetuum mobile ist also möglich, falls man nach der üblichen Methode der Physik den experimentierenden Menschen als eine Art ‚Deus ex machina' auffasst, welcher von dem momentanen Zustand der Natur fortwährend genau unterrichtet ist und die mikroskopischen Naturvorgänge in beliebigen Momenten ohne Arbeitsleistung in Gang setzen oder unterbrechen kann. Er brauchte somit durchaus nicht wie ein Maxwell'scher Dämon die Fähigkeit zu besitzen, einzelne Moleküle abzufangen, würde sich aber doch schon in obigen Punkten von wirklichen Lebewesen unterscheiden. Denn die Hervorbringung irgendeines physikalischen Effektes durch Betätigung des sensorischen wie auch des motorischen Nervensystems derselben ist immer mit einer Energieentwertung verbunden, abgesehen davon, dass ihre ganze Existenz an fortwährende Dissipation derselben gebunden ist."

„Ob also bei Berücksichtigung dieser Umstände wirkliche Lebewesen dauernd oder wenigstens in regelmässiger Weise Arbeit auf Kosten der Wärme niedrigster Temperatur erzeugen können, erscheint wohl recht zweifelhaft, wiewohl unsere Unkenntnis der Lebensvorgänge eine definitive Antwort ausschliesst."

§ 2.

Die bisher angestellten Untersuchungen gingen gewöhnlich in der Weise vor, dass der Betrachtung ein bestimmter, mehr oder weniger gut abgegrenzter bezw. abgrenzbarer physiologischer Prozess zugrunde gelegt und die bei diesem Vorgang auftretenden Energiewandlungen bestimmt, bezw. unter Zugrundelegung mehr oder minder glaubwürdiger Hypothesen berechnet wurden; sodann wurde ein Gewinn- und Verlustkonto der umgewandelten Energiemengen aufgestellt, daraus ein „Nutzeffekt" berechnet und dieser mit dem bei Anwendbarkeit des zweiten Hauptsatzes zulässigen Höchstwert des Nutzeffektes verglichen. Der andere mögliche Weg besteht darin, dass man die Gültigkeit des zweiten Hauptsatzes zunächst voraussetzt, mit Hilfe desselben unter Zugrundelegung eines bestimmten physiologischen Vorganges Folgerungen berechnet, die Zulässigkeit dieser Folgerungen einer experimentellen Prüfung unterzieht und aus dem Ergebnis den Schluss auf die Gültigkeit des zweiten Hauptsatzes zieht. Beide Wege sind beschritten worden, ohne jedoch zu einem befriedigenden Resultat zu führen. Dieser Misserfolg beruht darauf, dass es bisher nicht gelungen und mit den uns

heute zur Verfügung stehenden Mitteln physiologischer Experimentierkunst anscheinend noch nicht möglich ist, einen im lebenden Organismus vorgehenden Prozess zu finden, der sich in allen Einzelheiten so weit analysieren liesse, dass alle für die Untersuchung erforderlichen Grössen experimentell messbar wären. Der beste Beweis für die Unzulänglichkeit der angestellten Untersuchungen ist darin zu sehen, dass bis in die neuste Zeit immer wieder neue Versuche angestellt wurden, so dass z. B. die Literatur über die Thermodynamik des Muskels bereits einen verhältnismässig erheblichen Umfang angenommen hat und beständig weiter wächst. So bedauerlich an sich die Erkenntnis von der Unzulänglichkeit unserer physiologischen Experimentierkunst auch sein mag, so dürfen wir uns derselben doch nicht verschliessen. Wenn wir trotzdem versuchen wollen, uns über die Gültigkeit des zweiten Hauptsatzes der Thermodynamik für Vorgänge im tierischen Organismus klar zu werden, so bleibt uns nur noch die Möglichkeit einer Prüfung unter Anwendung einer rein formalistischen Betrachtungsweise. Wir werden also eine für die Anwendbarkeit des zweiten Hauptsatzes charakteristische Eigenschaft physikalischer Prozesse finden müssen, und werden, falls dieselbe auch den in Frage stehenden Vorgängen im lebenden Organismus zukommt, daraus den Schluss auf die Gültigkeit des zweiten Hauptsatzes für letztere Vorgänge ziehen können.

Demgemäss soll in den folgenden Betrachtungen gezeigt werden, dass die für diesen Zweck in Betracht kommende charakteristische Eigenschaft die Irreversibilität physikalischer Vorgänge ist, dass also, wenn der zweite Hauptsatz der Wärmetheorie richtig ist, sämtliche Naturprozesse in Wirklichkeit irreversibel sind, daher auch umgekehrt, wenn sämtliche Vorgänge im tierischen Organismus irreversibel sind, der zweite Hauptsatz uneingeschränkt für alles organische Geschehen Gültigkeit besitzt.

Im Interesse einer einheitlichen Darstellung soll auf die Gefahr hin, allgemein Bekanntes zu erörtern, die Bedeutung des Irreversibilitätsbegriffes sowohl vom thermodynamischen wie vom molekularkinetischen Standpunkte aus abgehandelt werden. Im Zusammenhang damit werden kurz die allgemeinen Einschränkungen, denen die Gültigkeit des zweiten Hauptsatzes unterworfen ist, erörtert

werden. Im Anschluss hieran wird sich, wie ich hoffe, die Besprechung der physiologischen Prozesse wesentlich vereinfachen.

§ 3.

Der erste Hauptsatz der Wärmetheorie enthält das Prinzip von der Erhaltung der Energie für solche Vorgänge, bei denen Umsetzungen von Wärme stattfinden, sei es, dass ein dem Vorgang unterworfenes Körpersystem Wärme aufnimmt oder abgibt, sei es, dass mechanische oder andere Energiearten in Wärme verwandelt werden oder aus Wärme entstehen. Bezeichnen wir mit U die Änderung der gesamten Energie eines abgeschlossenen Körpersystems, so ist nach dem Energieprinzip:

$$U = 0, \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (1)$$

das heisst in Worten: die einem gegen alle äusseren Einwirkungen abgeschlossenen Körpersystem innewohnende Energie ist konstant.

Ist das betrachtete Körpersystem nicht gegen die Aussenwelt abgeschlossen, so ist die Energieänderung, welche das System bei irgendeinem natürlichen Vorgange erleidet, gleich der von dem System geleisteten Arbeit A vermindert um die dem System zugeführte Wärmemenge Q:

$$U = A - Q, \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (2)$$

Für den Grenzfall ($A = 0$, $Q = 0$) geht diese Gleichung in die erste über, bildet also eine allgemeine Formulierung des Energieprinzips.

Die oberflächliche Betrachtung dieser Gleichungen hat gelegentlich dazu geführt, in dem Energieprinzip nichts anderes als eine Definition zu erblicken. Denn wenn Gleichung (1) in irgendeinem speziellen Falle nicht zuträfe, so brauchte man nur eine neue Energieform einzuführen, um die Gleichung wieder zu befriedigen, und Gleichung (2) lehrt scheinbar nichts anderes als die Messung einer Energiedifferenz. Darnach besässe das Energieprinzip eine rein formalistische Bedeutung. Dass diese Betrachtungsweise zu eng ist, ergibt sich ohne weiteres, wenn man den Inhalt der Gleichung (2) folgendermaassen ausspricht: Erleidet ein Körpersystem eine bestimmte Zustandsänderung, so ist die Energieänderung unabhängig von der Art des Überganges. Legt man der Betrachtung einen Kreisprozess zugrunde, bei welchem Anfangs- und Endzustand

identisch sind, also $U = 0$ ist, so folgt aus Gleichung (2), dass die von dem System während des Kreisprozesses geleistete äussere Arbeit A der aufgenommenen Wärmemenge Q proportional ist:

$$A = JQ, \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (3)$$

wo der Proportionalitätsfaktor J das mechanische Wärmeäquivalent bedeutet.

§ 4.

Aus der Gültigkeit des Energieprinzips ergibt sich ohne weiteres, dass es unmöglich ist, eine Maschine zu konstruieren, welche fortwährend und unbegrenzt von sich aus äussere Arbeit zu leisten vermag. Eine solche Maschine bezeichnet man als Perpetuum mobile erster Art. Jedoch erscheint es im Einverständnis mit dem ersten Hauptsatz durchaus im Bereich der Möglichkeit liegend, dass sich eine Vorrichtung finden liesse, die imstande wäre, die Wärme der Umgebung fortgesetzt in nutzbare Arbeit zu verwandeln. Das Luftmeer oder der Ozean stellen infolge ihrer ungeheuren Wärmekapazität ein unermessliches Energiereservoir dar, aus dem die gedachte Vorrichtung beliebige Mengen von Wärme entnehmen könnte, um sie in äussere Arbeit zu verwandeln. Eine derartige Maschine bezeichnet man als ein Perpetuum mobile zweiter Art; zahlreiche Versuche haben es wahrscheinlich gemacht, dass eine solche Vorrichtung herzustellen unmöglich ist, und zu der Annahme geführt, dass die Existenz eines Perpetuum mobile zweiter Art mit einem Naturgesetz in Widerspruch stehe. Dieses Gesetz fanden Carnot und Clausius in dem zweiten Hauptsatze der Thermodynamik. Dieser lehrt die quantitativen Beziehungen, welche die Verwandelbarkeit der Energie einschränken. Den wesentlichen Inhalt des zweiten Hauptsatzes bildet daher die Aussage, dass sich ein bestimmter Vorgang in einer bestimmten Richtung vollziehen muss. Betrachten wir z. B. die Joule'schen Versuche zur Bestimmung des mechanischen Wärmeäquivalents, so wäre es mit dem ersten Wärmesatze durchaus vereinbar, den Prozess vollständig rückgängig zu machen, indem man dem Flüssigkeitsreservoir die durch die Reibung der Schaufelräder beim Sinken des Gewichtes entstandene Wärmemenge mit Hilfe irgendwelcher beliebiger Mittel entzöge und dadurch das Gewicht wieder auf die ursprüngliche Höhe höbe. Dass dies tatsächlich unmöglich ist, lässt sich nicht a priori beweisen, vielmehr müssen wir es als Erfahrungstatsache hinnehmen. Unter „vollständig rückgängig“ machen versteht man dabei, dass der End-

zustand in allen Einzelheiten mit dem Anfangszustand durchaus identisch ist, dass also nicht nur das Wärmereservoir wieder genau die gleiche Temperatur und das Gewicht genau die gleiche Höhe besitze wie im Anfang, sondern dass auch alle für die Wiederherstellung des Anfangszustandes benutzten Mittel sich wieder in genau dem gleichen Zustand befinden, den sie zu Anfang hatten. Ein Vorgang, der in diesem Sinne vollständig rückgängig gemacht werden kann, heisst „reversibel", ist dies nicht möglich, „irreversibel". Ist von einem in der Natur sich abspielenden Vorgang der Anfangs- und der Endzustand in allen Einzelheiten bekannt, so liefert der zweite Hauptsatz eine Beziehung zwischen den für die beiden Zustände charakteristischen Grössen und das Kriterium für die Reversibilität oder Irreversibilität, also für die Richtung des Vorganges. Hierin besteht die Bedeutung des zweiten Hauptsatzes der Thermodynamik.

§ 5.

Für die mathematische Formulierung des zweiten Hauptsatzes reichen wir daher mit dem Energiebegriff nicht aus, vielmehr gilt es eine Grösse zu finden, welche durch einen bestimmten Zustand des betrachteten Systems genau bestimmt ist und welche ausserdem die Eigenschaft besitzt, bei Zustandsänderungen des Systems entweder konstant zu bleiben, sofern diese reversibel sind, oder zu wachsen, sofern es sich um irreversible Prozesse handelt. Diese Grösse ist von Clausius die Entropie S des Systems genannt worden und ist definiert als die durch die absolute Temperatur T dividierte Differenz von Gesamtenergie U und freier Energie A.

$$S = \frac{U - A}{T} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (4)$$

Für einen Kreisprozess, bei welchem Anfangs- und Endzustand identisch sind, ergibt daher der zweite Hauptsatz, dass die mit dem Vorgang verbundene Entropieänderung gleich Null ist:

$$\Delta S = 0. \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (5)$$

Für eine beliebige Zustandsänderung ist die Änderung der Entropie notwendig grösser als Null:

$$\Delta S > 0. \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (6)$$

Ist das betrachtete Körpersystem nicht gegen die Aussenwelt abgeschlossen, sondern nimmt es Arbeit und Wärme aus der Umgebung auf, so ist die Entropieänderung, die es bei dem Vorgang erleidet,

$$\Delta S = \Sigma \frac{Q}{T} \geqq 0 \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (7)$$

wobei T die absolute Temperatur der von dem System aufgenommenen Wärmemenge Q bedeutet. Somit postuliert der zweite Hauptsatz für alle Vorgänge in der Natur die Irreversibilität, sofern dieselben mit Reibung oder Wärmeleitung verbunden sind; reversible Prozesse haben lediglich die Bedeutung der idealen Grenzfälle. Umgekehrt würde im Sinne dieser Darstellung der zweite Hauptsatz seine Bedeutung als Naturgesetz völlig einbüssen, sobald es gelänge, einen der natürlichen als irreversibel geltenden Vorgänge umkehrbar zu gestalten [1]).

§ 6.

Des weiteren ist es noch erforderlich, die Bedeutung des zweiten Hauptsatzes einer kurzen Besprechung vom Standpunkte der kinetischen Molekulartheorie aus zu unterziehen, da sein Geltungsbereich durch diese in gewissen Beziehungen eingeschränkt wird und der Irreversibilitätsbegriff im Zusammenhange damit ebenfalls begrenzt wird.

Bei der molekularkinetischen Behandlung thermodynamischer Zustände kann man so vorgehen, dass man für jedes einzelne Molekül des betrachteten Systems die charakteristischen Koordinaten für einen bestimmten Zeitpunkt angibt und dadurch die erfolgenden Zustandsänderungen des Systems für beliebig lange Zeiten im voraus eindeutig bestimmt. Eine derartige Betrachtungsweise bezeichnet man mit Planck als „mikroskopisch". Der Mikrobeobachter ist also ein mit übermenschlichen Fähigkeiten begabtes Wesen, das imstande ist, einzelne Moleküle auf ihrem Lebenswege zu verfolgen, entsprechend dem eingangs erwähnten Maxwell'schen Dämon.

Im Gegensatz dazu steht der Makrobeobachter, welcher viel einfacher zu Werke geht, da er für die einzelnen Moleküle als Individuen kein Interesse hat und nicht haben kann, weil ihm das Mittel fehlt, Eigenschaften einzelner Moleküle wahrzunehmen. Der Makrobeobachter muss sich damit begnügen, einzelne Parameter des Systems zu berücksichtigen, welche von einer in der Regel grossen Anzahl von Molekülen dargestellt werden und der Messung bequem

1) Die Darstellung der vorangehenden Paragraphen geschah im engsten Anschluss an: Nernst, Theoretische Chemie, 5. Aufl., S. 16—31. 1909. — Planck, Thermodynamik, 4. Aufl., S. 76ff. 1913. — Planck, Über neuere thermodynamische Theorien S. 5ff. Leipzig 1912. — Die Darstellung der folgenden Paragraphen folgt: M. v. Smoluchowski, l. c. S. 87—121.

zugänglich sind. Er beschränkt sich auf die Beobachtung von Volumen, Druck, Schwerpunktskoordinaten usw. Die Betrachtungsweise des Makrobeobachters ist also wesentlich einfacher als die des Mikrobeobachters, da sie eine viel geringere Anzahl von Zahlenangaben erfordert. Dafür verzichtet der Makrobeobachter aber auf die eindeutige Festlegung der Zustandsänderungen des Systems. Denn jeder Makrozustand umfasst eine überaus grosse Anzahl von Mikrozuständen, deren jeder eine eigene von den andern verschiedene Richtung der Zustandsänderung bedingt. Der Mikrobeobachter berechnet das zeitliche Geschehen mit eindeutiger Bestimmtheit, der Makrobeobachter nur mit Wahrscheinlichkeit.

Im Verlaufe genügend langer Zeiträume werden alle möglichen Makrozustände einmal durchlaufen, wobei sich die einzelnen Makrozustände sehr verschieden häufig wiederholen, die Wahrscheinlichkeit der einzelnen Zustände wird also sehr ungleich sein. Von dieser Auffassung ausgehend konnte Boltzmann zeigen, dass die Entropie eines Makrozustandes dem Logarithmus seiner Wahrscheinlichkeit proportional ist. Damit ist die molekularkinetische Definition des Entropiebegriffes gegeben.

Diejenigen Zustände, welche die grösste Zahl gleichartiger Mikrozustände umfassen, die also am häufigsten vorkommen und das durchschnittliche Verhalten des betrachteten Systems innerhalb sehr grosser Zeitabschnitte darstellen, sind die wahrscheinlichsten und entsprechen daher dem Maximum der Entropie. Die merklich weniger wahrscheinlichen Zustände, denen also ein geringerer Entropiewert zukommt, werden so viel seltener in Erscheinung treten, dass das durchschnittliche Verhalten des Systems während unermesslich langer Zeiträume dem zweiten Hauptsatze gemäss stattfinden wird.

§ 7.

Nach diesen Vorbemerkungen können wir voraussehen, dass sich das Verhalten natürlicher Systeme zunächst in folgenden zwei Fällen von dem vom zweiten Hauptsatz geforderten unterscheiden wird, nämlich erstens für den Fall, dass das beobachtete System aus einer so geringen Anzahl von Molekülen besteht, dass die Abweichungen (Schwankungen um den Mittelwert) vom durchschnittlichen Verhalten wahrnehmbar werden; zweitens für den Fall, dass die innerhalb eines bestimmten Zeitraumes zu erwartende maximale Abweichung vom durchschnittlichen Verhalten in Erscheinung tritt.

Ein Beispiel möge zur Erläuterung angeführt werden. Betrachten wir eine kolloidale Goldlösung mit Hilfe des Ultramikroskops und bestimmen wir in bestimmten Zeitabständen die Zahl der im Gesichtsfeld befindlichen Goldteilchen und findet man etwa folgende Reihe: 1 2 0 0 0 2 0 0 1 3 2 4 1 2 3 1 0 2 1 1 1 1 3 1 1 2 5 1 1 1 0 2 3 3 1 usw., so finden wir, dass gegenüber dem aus der Reihe hervorgehenden Mittelwert $v = 1{,}55$ sehr erhebliche Schwankungen auftreten. Da jede Partikel der dispersen Phase mit gleicher Wahrscheinlichkeit irgendeine Lage innerhalb des Gefässes annehmen kann und im Laufe der Zeit auch alle möglichen Lagen einnehmen wird, so ist der wahrscheinlichste Fall der der gleichmässigen Verteilung, der unwahrscheinlichste der, dass alle Teilchen in dem betrachteten Raume anwesend sind, der Rest des Gefässes aber leer ist. Der Thermodynamiker muss also fordern, dass in jedem Augenblick ein bis zwei, genau 1,55 Körper im Gesichtsfeld vorhanden sind. In Wirklichkeit stellen also die in der angeführten Reihe gefundenen Abweichungen vom Mittelwert ebenso viele Abweichungen vom zweiten Hauptsatz dar, und in dem zweiten Falle, dass alle vorhandenen Teilchen sich in einem Augenblick im Gesichtsfeld befinden, haben wir den anderen Modus des tatsächlichen Versagens des zweiten Hauptsatzes vor uns. Nach welcher Zeit dieser zweite Fall eintreten wird, lässt sich nicht abschätzen. Für die 13 Minuten dauernde Beobachtungsreihe von The Svedberg beträgt die maximale Abweichung 7.

Handelt es sich um Systeme, die eine sehr grosse Anzahl von Molekülen enthalten, so wird die dritte Fehlergrenze des zweiten Hauptsatzes gegeben durch die Bestimmung der Wiederkehrzeit derjenigen Zustände, welche von dem durchschnittlichen Verhalten des beobachteten Systems abweichen. Auf Grund eingehender Wahrscheinlichkeitsberechnungen, deren Aufführung in diesem Zusammenhange zu weit vom Ziele abführen würde, sucht v. Smoluchowski die Zeit zu bestimmen, innerhalb deren in einem Würfel von 1 cm Seitenlänge in einer Mischung gleicher Teile Sauerstoff und Stickstoff einmal selbsttätig eine teilweise Entmischung derart einträte, dass die Konzentration des Sauerstoffs in der einen Hälfte des Raumes um etwa 1 % höher wäre als in der anderen. Er findet die fragliche Zeit von der Grössenordnung $10^{10^{14}}$ Sekunden.

§ 8.

Aus den vorstehenden Wahrscheinlichkeitsbetrachtungen ergibt sich einerseits, dass vom molekularkinetischen Standpunkte aus streng genommen irreversible Prozesse nicht existieren. Denn man braucht die Beobachtungszeit nur hinreichend lange zu wählen, um für jeden beliebigen Vorgang das Prinzip der Irreversibilität ausser Kraft gesetzt zu sehen. Andererseits aber hat sich aus den quantitativen Berechnungen ergeben, dass die in Frage kommenden Zeiträume so ungeheuer gross sind, dass die praktische Bedeutung der Thermodynamik dadurch nicht beeinträchtigt wird; Ob der menschliche Beobachter einen Vorgang als irreversibel auffassen muss oder nicht, hängt lediglich davon ab, ob der Anfangszustand des betrachteten Systems sich im Augenblick mehr oder weniger dem durchschnittlichen Verhalten des Systems nähert. Bei der Kürze des menschlichen Lebens und der ungeheuer geringen Wahrscheinlichkeit der vom Durchschnitt abweichenden Zustände werden wir jedoch fast niemals die automatische Wiederkehr derselben erleben. Immerhin aber begeht der Thermodynamiker, welcher die Irreversibilität der Naturvorgänge postuliert, — um einen Vergleich von v. Smoluchowski zu gebrauchen, — denselben Fehlschluss, wie etwa die ersten Frühlingsblumen glauben könnten, dass das Klima des Weltalls immer wärmer werde, da sie die Abkühlung im Herbst niemals erleben.

Zusammenfassend können wir bemerken, dass trotz der Einschränkungen, welche die thermodynamische Formulierung des zweiten Hauptsatzes von seiten der statistischen Molekulartheorie erfährt, für die praktische Anwendung die Bedeutung der Irreversibilität natürlicher Vorgänge als das Kriterium für die Gültigkeit des zweiten Hauptsatzes in vollem Maasse bestehen bleibt.

§ 9.

Zur Vermeidung von Missverständnissen bei der Fragestellung der nunmehr beginnenden Besprechung der in Betracht kommenden physiologischen Vorgänge sei nochmals besonders hervorgehoben, dass es sich nicht um die Beantwortung der Frage handelt, ob der tierische Organismus eine kalorische Maschine ist oder nicht, auch nicht um die Frage, ob der Muskel eine einfache oder eine kalorische Maschine ist, oder ob er chemische oder Oberflächenenergie in Arbeit umwandelt. Es handelt sich auch nicht darum,

den mechanischen Wirkungsgrad des Gesamtorganismus oder des Muskels zu berechnen, vielmehr haben wir nichts anderes zu tun, als die vorhandenen thermodynamischen Untersuchungen, welche unter Zugrundelegung physiologischer Vorgänge angestellt wurden, darauf hin zu sichten, ob es gelungen ist, einen Vorgang zu finden, welcher die Anwendbarkeit des zweiten Hauptsatzes zu beweisen gestattet. Alle Untersuchungen der oben erwähnten Art haben in diesem Zusammenhange nur eine sekundäre Bedeutung, insofern sie uns unter Umständen das Zahlenmaterial an die Hand liefern, auf Grund dessen wir die Berechtigung oder Nichtberechtigung der Anwendbarkeit des zweiten Hauptsatzes der Thermodynamik prüfen können.

Bekanntlich hat Danilewsky[1]) den Bruchteil der als äussere Arbeit erscheinenden, vom Organismus täglich gelieferten Gesamtenergie zu etwa 20 % berechnet. Er kommt zu diesem Resultat, indem er die mechanische Leistung eines Arbeiters in einer Sekunde zu 7 kgm annimmt, bei achtstündiger Arbeitsleistung also zu einer Summe von rund 200 000 kgm gelangt, während die gesamte tägliche Energieproduktion 1 371 000 kgm beträgt. Rechnet man dazu die Arbeit des Herzens, der Atemmuskeln, der akzessorischen Muskelkontraktionen usw. mit zirka 100 000 kgm, so erhält man den Quotienten von 300 000 / 1 371 000. Nun ist ohne weiteres zuzugeben, dass es wohl keinen Menschen bisher gegeben hat, der eine derartige Arbeitsleistung ohne Ruhepause wirklich hervorzubringen imstande wäre. Man[2]) hat deshalb versucht, unter Zugrundelegung anderer Verhältnisse, die den natürlichen Arbeitsbedingungen körperlich arbeitender Menschen näher kommen, günstige Resultate zu errechnen, und hat auf diese Weise weit niedrigere Werte für die Arbeitsleistung des menschlichen Gesamtorganismus erhalten. Es liegt auf der Hand, dass derartige Berechnungen, welche jeder Willkür freiesten Spielraum lassen, für unsere Untersuchungen keinen Wert haben können.

§ 10.

Je nach der Art der zugrunde gelegten Arbeit hat man Quotienten berechnet, welche zwischen 1 und 12 % schwanken. Die Tatsache,

1) Pflüger's Arch. Bd. 30 S. 176. 1883.

2) E. Simonson, Der Organismus als kalorische Maschine und der zweite Hauptsatz S. 14ff. Charlottenburg 1912.

dass der Mensch in der Not Sekundenleistungen bis zu mehr als einer Pferdestärke hervorbringen kann, hat ebenfalls zu Zweifeln darüber geführt, ob man den tierischen Organismus als Wärmemaschine betrachten dürfe, dass er vielmehr einem Elektrizitätswerk vergleichbar sei, in welchem der zweite Wärmesatz unmittelbar nur auf die eigentlich treibende Dampfmaschine angewandt werden dürfe, nicht aber auf das ganze Werk. Auf Grund der bekannten Untersuchungen von Rubner und Atwater bestreitet Zuntz[1]) die Berechtigung der Schreber'schen[2]) Auffassung, da durch die Untersuchung der erstgenannten Autoren als erwiesen angesehen werden könne, dass eine Aufspeicherung von Energie im ruhenden Organismus in nennenswertem Maasse nicht stattfinde. Auch über diese Frage ist es bei weitem noch nicht gelungen, Übereinstimmung zwischen den verschiedenen Autoren herbeizuführen. Inwiefern der Blutzucker und das Glykogen der Leber oder irgendwelche andere energiespeichernde Einrichtungen im tierischen Organismus in diesem Zusammenhange als Akkumulatoren aufzufassen sind, ist je nach der Stellungnahme der verschiedenen Untersucher verschieden beurteilt worden. Aus der Art der zugrunde gelegten Vorgänge, aus der Willkür und der grossen Zahl der dabei unterlaufenden Schätzungen ergibt sich ohne weiteres, dass wir alle diese Untersuchungen bei der Beantwortung der vorliegenden Frage ausschalten müssen, da das Zahlenmaterial, welches sie liefern, jeder Zuverlässigkeit entbehrt, besonders aus dem Grunde, weil es unmöglich ist, für kurze Zeiträume das Verhältnis der mit der Nahrung aufgenommenen Energie und der geleisteten Arbeit zu vergleichen. Auf Grund dieser Erwägung glaubten wir es unterlassen zu dürfen, auf die umfangreichen Diskussionen näher einzugehen, welche über die Frage angestellt worden sind, ob der tierische Gesamtorganismus als kalorische Maschine zu betrachten sei oder nicht.

§ 11.

An dieser Stelle sollen einige Bemerkungen über die Anwendbarkeit des ersten Hauptsatzes der Thermodynamik auf physiologische Vorgänge eingefügt werden. Das Gesetz von der Erhaltung der Energie im Tierkörper schlechtweg als Axiom aufzustellen, wie Liebig es tat, oder als „Denknotwendigkeit", welche eines ex-

1) N. Zuntz, Physik. Zeitschr. Bd. 3 Nr. 9. 1902.
2) Schreber, Physik. Zeitschr. Bd. 3 Nr. 6 u. 12. 1902.

perimentellen Beweises nicht bedarf, diese Anschauungen konnten in der Biologie ebensowenig auf die Dauer aufrecht erhalten werden, wie es in der reinen Physik als irrtümlich bezeichnet werden musste, wenn man gelegentlich in dem ersten Hauptsatze nichts weiter als eine Definition erblicken wollte. Deshalb stellte als erster Helmholtz[1]) den Versuch eines experimentellen Beweises für die Gültigkeit des Gesetzes von der Erhaltung der Energie im Tierkörper auf. Doch verfügte Helmholtz nicht über ausreichend genaues Zahlenmaterial, so dass er die Frage nur „annähernd bejahen" zu können glaubte. Auf eine exakte experimentelle Grundlage wurden diese Erörterungen erst durch die Untersuchungen von Rubner[2]) gestellt, welcher 99,5 % der Energie, die von Tieren mit der Nahrung aufgenommen wurde, in den Ausgaben wiederfand. Diese Ergebnisse waren erst möglich, nachdem es gelungen war, die zuverlässigen Methoden der Ernährungsphysiologie auszugestalten. Auf eine nähere Besprechung der Untersuchungen von Rubner und Atwater einzugehen, würde den Rahmen der vorliegenden Abhandlung überschreiten. Wir wollen uns auf den Standpunkt stellen, dass die Gültigkeit des ersten Hauptsatzes für den Tierkörper durch die angeführten experimentellen Untersuchungen zum mindesten im allerhöchsten Maasse wahrscheinlich gemacht worden ist.

§ 12.

Auf eingehenderen ernährungsphysiologischen Untersuchungen über die Muskelarbeit fussen die Untersuchungen über die Thermodynamik des Muskels von Chauveau und Zuntz. Besonders die klassischen Arbeiten von Zuntz haben zu einer genaueren Kenntnis von dem Wirkungsgrad des Muskels geführt. Es ist hier nicht der Ort, in eine eingehende Besprechung der Chauveau'schen und Zuntz'schen Ableitungen einzutreten. Bezüglich der Einzelheiten muss auf die Originalarbeiten und auf die ausführlichen Abhandlungen von Frank[3]) und Weiss[4]) verwiesen werden.

1) H. v. Helmholtz, Über die Erhaltung der Kraft S. 69 u. 70. Berlin 1847, und Enzykl. Wörterb. d. mediz. Wissenschaften. Art. „Wärme".

2) Vgl. z. B. M. Rubner, Kraft und Stoff im Haushalte der Natur S. 23ff. Leipzig 1909.

3) O. Frank, Thermodynamik des Muskels. Ergebn. d. Physiol. Bd. 3 H. 2 S. 348. 1904.

4) G. Weiss, Die Muskelarbeit nach den Untersuchungen von Chauveau. Ergeb. d. Physiol. Bd. 9 S. 369. 1910.

Es soll zunächst nur andeutungsweise wiedergegeben werden, dass Chauveau eine Formel abgeleitet hat, welche eine Verfolgung der im Motor vorgehenden Energiewandlungen mit befriedigender Genauigkeit zulässt, solange es sich um einen in allen Einzelheiten bestimmten Einzelvorgang und einen bestimmten Motor handelt. Die Formel von Chauveau lautet:

$D = PH + Q_1 + Q_2$, worin bedeutet:

D = Gesamtausgabe,

PH = Arbeit beim Heben des Gewichtes P auf die Höhe H,

Q_1 = die dem Motor zu liefernde Energie, wenn er einfach das Gewicht hält;

Q_2 = die dem Motor zu liefernde Energie, wenn er sich leer mit derselben Geschwindigkeit dreht, wie wenn er die Arbeit PH verrichtet.

Da es nicht möglich ist, alle Glieder der Chauveau'schen Formel in derselben Einheit zu messen, z. B. die Äquivalenz von PH als absorbiertem O_2 und abgegebener CO_2, so ist die Bestätigung der Chauveau'schen Formel am Muskel nicht gelungen.

Bei dem einfachen Halten eines Gewichtes erscheint die verbrauchte Energie vollständig als Wärme wieder. Die Summe der Wärmemengen, welche beim einfachen Halten des Gewichtes und bei der Erzeugung der Geschwindigkeit im Leeren entwickelt werden, müsste also der Wärmemenge gleichen, die beim Heben des Gewichtes entwickelt wird. Diese Wärmemenge musste man messen. Die übergrosse Feinheit dieser Messungen stellt das Resultat so sehr in Frage, dass die Chauveau'schen Ergebnisse für die Prüfung der Anwendbarkeit des zweiten Hauptsatzes auf die Thermodynamik des Muskels nicht mit Aussicht auf Erfolg herangezogen werden könnten. Im besten Falle würden sich Annäherungswerte ergeben.

§ 13.

Zuntz sucht den Wirkungsgrad der Muskeltätigkeit zu bestimmen durch Untersuchung des Stoffwechsels des gesamten Tierkörpers unter dem Einfluss der Muskeltätigkeit. Er berechnet den Wirkungsgrad für die Steigarbeit aus der Differenz dieser Steigarbeit und der bei der horizontalen Bewegung geleisteten Arbeit, indem er sie in Verhältnis zu den Differenzen des gesamten Energieaufwandes in beiden Fällen setzt, ohne dass er es unterlässt, die Arbeitsleistung bei der horizontalen Bewegung zu schätzen. Es be-

steht daher nicht der geringste Zweifel, dass die Untersuchungen von Zuntz zu einer ausreichend genauen Kenntnis von dem maximalen Wirkungsgrad der Muskeln führen, obwohl die strenge Definition des Wirkungsgrades verlangt, dass die gesamte äussere Arbeit, die bei dem Steigen geleistet wird, durch den gesamten Energieaufwand, der zu der Leistung dieser Arbeit nötig ist, dividiert wird.

§ 14.

Weit weniger erheblich sind für uns die umfangreichen Erörterungen darüber, welcher Art die Energiewandlungen im arbeitenden Muskel sind. In den Untersuchungen von Fick[1]) ist der maximale Wirkungskreis für den ausgeschnittenen Froschmuskel unter günstigen Bedingungen zu etwa 25—30 % berechnet worden, und es liegt Veranlassung vor, diese Zahl der Grössenordnung nach als richtig zu betrachten. In der Diskussion darüber, inwiefern der Muskel als thermodynamische oder chemische Maschine aufzufassen ist, sucht Fick die Anziehungskräfte chemischer Natur durch grobe Vorstellungen anschaulich zu machen. Biedermann[2]) charakterisiert diese als „Beispiel für eine gewisse Art mathematisch-physikalischer Betrachtungsweise von Vorgängen innerhalb lebendiger Substanzen, die unter dem Anschein der Exaktheit doch mehr geeignet erscheint, Unklarheit zu fördern, als ein wirkliches Verständnis anzubahnen".

Bernstein[3]) fasst die Energie des Muskels als Oberflächenenergie auf. In der Oberflächenschicht vollzieht sich nach Bernstein die Umsetzung der Energie in Arbeit direkt aus der chemischen Energie, während in der übrigen Masse der tätigen Muskelsubstanz aus der chemischen Energie direkt Wärme gebildet wird. Als Verhältniszahl für Oberflächenspannung zu Gesamtenergie ergibt sich 0,20, was in der Grössenordnung der von Fick geforderten Zahl entspricht.

Abgesehen von der Frage, ob eine derartige Auffassung überhaupt berechtigt ist, ob die Oberflächenenergie wirklich als Quelle der Muskelkraft anzusehen ist, so sind doch alle diese Berechnungen viel zu ungenau, um an ihrer Hand in eine Prüfung der Anwendbarkeit des zweiten Hauptsatzes eintreten zu können.

1) Vgl. z. B. Myothermische Untersuchungen. Wiesbaden 1889.

2) W. Biedermann, Vergleichende Physiologie der irritablen Substanzen. Ergeb. d. Physiol. Bd. 8 S. 183. 1909.

3) J. Bernstein, Pflüger's Arch. Bd. 35 S. 308 ff. 1901.

§ 15.

In einer Reihe von Arbeiten[1]) findet der zweite Hauptsatz Anwendung zur Berechnung der osmotischen Arbeit der Nieren. Von der Tatsache ausgehend, dass die Gesamtkonzentration des Harns diejenige des Blutes übersteigt, werden Zahlenwerte berechnet, welche die sekretorische Arbeit der Niere darstellen sollen. Abgesehen von der Erörterung, inwiefern derartige Berechnungen experimentell befriedigende Grundlagen besitzen, liegt es klar auf der Hand, dass sie für eine Prüfung der Anwendbarkeit des zweiten Hauptsatzes nicht in Betracht kommen, da hierzu erforderlich wäre, dass sämtliche Partialdrucke der im Blut und im Harn gelösten Stoffe genau bekannt wären, was bei weitem nicht der Fall ist, und da ferner diese Berechnungen nur für den idealen Grenzfall zuträfen, dass die Nierenarbeit ein reversibler Prozess wäre, was ebenfalls im höchsten Maasse unwahrscheinlich ist.

Ebensowenig führt die thermodynamische Behandlung bioelektrischer Ströme durch Bernstein[2]) zu Resultaten, welche für den vorliegenden Zweck verwertbar sind. Alle angeführten sowie zahlreiche nicht erwähnte Untersuchungen dieser Art stellen teils mehr, meist weniger erfolgreiche Anwendungen des zweiten Hauptsatzes auf physiologische Vorgänge dar, ohne dass ein einziger Fall bekannt geworden wäre, welcher einwandfrei für die Gültigkeit des zweiten Hauptsatzes spräche.

§ 16.

Eine andere Gruppe von Vorgängen legen Baron und Pólányi[3]) ihren Untersuchungen zugrunde, nämlich gewisse chemische Reaktionen der Reaktionsreihen, welche im Organismus von dem Stoffwechsel vollzogen werden, wie z. B. die Verbrennung von Traubenzucker zu Wasserdampf und Kohlendioxyd. Im Gegensatz zu Zuntz u. a., welche mit dem Vorhandensein erheblicher Temperaturdifferenzen zwischen einzelnen Regionen des homoiothermen Organismus rechnen, nehmen Baron und Pólányi an, dass die von ihnen untersuchten Vorgänge isotherm verlaufen, weil durch diese

1) v. Rhorer, Pflüger's Arch. Bd. 109 S. 375. 1905. — Galeotti, Engelmann's Arch. 1902 S. 200. — Dreser, Arch. f. exper. Pathol. u. Pharmakol. Bd. 29 S. 303. 1892.

2) Pflüger's Arch. Bd. 92 S. 521. 1902.

3) Biochem. Zeitschr. Bd. 53 S. 1. 1913.

Annahme die Anwendbarkeit des zweiten Hauptsatzes vereinfacht wird. Um die Veränderung der freien Energie bei chemischen Prozessen, zu berechnen, ist die Kenntnis der Reaktionskonstante nötig. Zur Bestimmung der gesamten Veränderung der freien Energie für eine nicht zu kurze Zeitperiode bedarf man daher der Anwendung des Nernst'schen Wärmetheorems. Da die Temperaturkurve der spezifischen Wärme bei den untersuchten Substanzen nicht bestimmt ist, bedienen sich Baron und Pólányi einer für diesen Fall von Nernst angegebenen Annäherungsformel.

Die Summe der Abnahme und der Zunahme der freien Energie im Organismus und in jenen Körpern, an die der Organismus freie Energie abgibt, bzw. von denen er solche aufnimmt, dienen zur Berechnung der Bilanz der Veränderungen der freien Energie für einen speziellen Stoffwechselversuch. Vorausgesetzt wird, dass alle Veränderungen im Organismus während der untersuchten Periode sowie alle Veränderungen der Stoffe, die den Organismus während dieser Zeit passiert haben, im Endergebnisse nichts anderes als Verbrennung des Eiweisses, Fettes und Zuckers sowie Fettbildung aus Zucker sind. Daneben kann der Organismus noch mechanische Arbeit geleistet haben. Immer muss die gesamte Abnahme der freien Energie grösser sein als die Wärmeabgabe, und zwar sind diese um nicht mehr als 13 % voneinander im Organismus verschieden, wenn es sich um Reaktionen mit grossen Wärmetönungen handelt, wie dies für die angeführten Stoffwechselprozesse zutrifft. Allein die speziellen Dimensionen der Abnahme der freien Energie der speziellen Vorgänge, um die es sich handelt, führen zu dem Ergebnis, das keineswegs aus dem zweiten Hauptsatz im allgemeinen zu folgern ist. Wenn die Veränderungen der freien Energie nicht bekannt sind, so sagt der zweite Hauptsatz nichts.

§ 17.

Für die speziellen Vorgänge werden folgende Bedingungen aufgestellt:

Die Verbrennung von Traubenzucker im Organismus erfolgt nach der Formel:

$C_6H_{12}O_6 + 6\,O_2 = 6\,H_2O + 6\,CO_2$, Temp. $= 37^\circ$ C.;

Anfangszustand:

fester Zucker und Sauerstoff von 150 mm Spannung.

Endzustand:

CO_2 von 40 mm und Wasserdampf von 20 mm Spannung.

Verbrennung von Fett (Tristearin):

$C_{57}H_{110}O_6 + 81{,}5\ O_2 = 57\ CO_2 + 55\ H_2O$, Temp. = 37° C.;

Anfangszustand:

Festes Fett und Sauerstoff von 150 mm Spannung.

Endzustand:

CO_2 von 40 mm und Wasserdampf von 18 mm Spannung.

Verbrennung von Eiweiss:

Das Eiweissmolekül wird in zwei Teile zerlegt, von denen sich der eine in Kohlendioxyd, Carbamid und Wasser umsetzt, der andere in andere Molekülarten. Für den ersten Teil wird die Summe der Wärmetönung und Veränderung der freien Energie entsprechend der speziellen Kenntnis der reagierenden Moleküle berechnet, für den anderen Teil werden nur die möglichen Grenzen berechnet. Dieser zweite Teil beträgt beim Menschen etwa $^1/_{10}$ der gesamten umgesetzten Eiweissmenge. Demnach:

1 g Eiweiss + $a \cdot O_2 = b\ CO_2 + c\ H_2O + d\ CO(NH_2)_2$ + 0,1 g „andere Moleküle".

Reaktionsformel des ersten Teils:

100 g Eiweiss + $4{,}54\ O_2 = 0{,}6\ CO(NH_2)_2 + 2{,}3\ H_2O + 3{,}81\ CO_2$, Temp. = 37° C..

Anfangszustand:

Festes Eiweiss und Sauerstoff von 150 mm Spannung.

Endzustand:

Kohlendioxyd von 40 mm, Wasserdampf von 18 mm Spannung und Carbamid im Harn zu 2 % gelöst.

Zusammensetzung und osmotischer Druck des Harns führen zur Berechnung von Anteil zwei.

Die Synthese von Fett aus Traubenzucker erfolgt im Organismus nach der folgenden einfachen Formel:

$19\ C_6H_{12}O_6 = 2\ C_{57}H_{110}O_6 + 4\ H_2O + 49\ O_2$, welche der Berechnung zugrunde gelegt wird.

Die angeführten Bedingungen führen immer zu dem gewünschten Resultat. Sie wurden so ausführlich angeführt, um ein objektives Urteil zu ermöglichen über die sehr klaren und anschaulichen physikalischen Deduktionen der Autoren. Wenn auch für die Berechnung nur der Anfangs- und Endzustand des Prozesses maassgebend sind,

der Weg des Überganges von dem einen in den anderen Zustand aber belanglos, so sind doch auch die von Baron und Pólányi angenommenen Anfangs- und Endzustände mehr oder minder willkürlich, wenn man auch zugeben mag, dass sie möglich oder sogar wahrscheinlich sind. Völlig überzeugende Beweise für die Gültigkeit des zweiten Hauptsatzes für physiologische Vorgänge bieten sie daher leider nicht.

§ 18.

Für die experimentelle Prüfung der Frage nach der Anwendbarkeit des zweiten Hauptsatzes kommen, wie wir gesehen haben, Messungen des Wirkungsgrades einzelner Organe, Organsysteme oder nach Anfangs- und Endzustand genau definierbarer Stoffwechselvorgänge in Frage. Für derartige Messungen sind in den voranstehenden Besprechungen einige besonders wichtige Beispiele angeführt. Hierbei darf nicht übersehen werden, dass die angeführten Untersuchungen häufig ganz andere Zwecke verfolgten, als Beweise für die Gültigkeit des zweiten Hauptsatzes zu bringen; sie setzten diese häufig einfach voraus und hatten etwa nur das Ziel, einen Wirkungsgrad als solchen zahlenmässig festzustellen. Deshalb wird der Wert dieser Arbeiten und das reiche Material neuer Tatsachen, das in ihnen enthalten ist, nicht herabgesetzt, wenn wir zu dem Schlusse gelangen mussten, dass keine der angeführten Experimentaluntersuchungen die Anwendbarkeit des zweiten Hauptsatzes auf Vorgänge im lebenden Organismus so eindeutig beweist wie etwa die Joule'schen Versuche die Gültigkeit des ersten Wärmesatzes.

Nachdem wir uns also von der Unzulänglichkeit der Messungen des Wirkungsgrades der Organe überzeugt haben, bleibt als einziges Kriterium für die Gültigkeit des zweiten Hauptsatzes für physiologische Prozesse der Begriff der Irreversibilität. „Darüber, dass die arbeitenden Organe sich aber mehr oder weniger irreversibel betätigen, kann wohl gar kein Zweifel bestehen. Denn betrachten wir als nächstliegendes Beispiel allein etwa den Muskel, so bedeutet jede sogenannte statische Arbeit desselben, jeder Tetanus, jede isometrische Zuckung einen Verlust an freier Energie, der durch Reibungen und Dehnungen bei der Kontraktion bedingten Verluste gar nicht zu gedenken. Dass die Verhältnisse in anderen Fällen nicht besser liegen, halte ich für höchst wahrscheinlich, wenn man bedenkt, wie selten sich überhaupt reversible Prozesse realisieren

lassen[1])." Zumindest ist bisher noch kein physiologischer Vorgang bekannt geworden, der in Wirklichkeit reversibel verläuft[2]). Da aber, wie wir im ersten Teile der Abhandlung gesehen haben, sämtliche Naturprozesse irreversibel sein müssen, wenn der zweite Hauptsatz der Wärmetheorie richtig ist, so muss dieser auch so lange unbedingte Gültigkeit für alle Vorgänge im lebenden Organismus besitzen, wie es nicht gelingt, einen physiologischen Prozess in Wirklichkeit reversibel zu leiten.

Mit dieser rein formalen, eigentlich indirekten Beweisführung müssen wir uns bei dem heutigen Stande physiologischer Experimentierkunst begnügen.

---

1) R. Höber, Physikalische Chemie der Zelle und der Gewebe, 3. Aufl., S. 635. Leipzig 1911.

2) Herrn Prof. Dr. Abderhalden verdanke ich den Hinweis darauf, dass die fermentative Fettspaltung und -synthese, welche bekanntlich reversibel geleitet werden kann, für die Diskussion der thermodynamischen Probleme in der Physiologie voraussichtlich von Bedeutung werden kann.

Lebenslauf.

Ich, Kurt Wachtel, preußischer Staatsangehörigkeit, bin am 22. Oktober 1890 zu Berlin als Sohn des verstorbenen Kaufmanns Max Wachtel und seiner Ehefrau Fanny, geborenen Rosenberg, geboren. Hierselbst besuchte ich das Königstädtische Gymnasium, das ich zu Ostern 1909 mit dem Zeugnis der Reife verließ. An den Universitäten Berlin während acht Semester, Greifswald und Freiburg i. Br. je eines Semesters studierte ich Medizin und Chemie. Zu Oktober 1911 bestand ich in Berlin das Chemiker-Verbandsexamen und die ärztliche Vorprüfung, am 30. Mai 1914 die ärztliche Staatsprüfung mit dem Gesamtprädikat „gut“ in Freiburg i. B. Am 3. August 1914 erhielt ich die Approbation als Arzt. Am 22. März 1917 fand das Kolloquium und die Promotion zum Dr. med. statt.

Ich besuchte unter anderem die Vorlesungen und Übungen folgender Herren Professoren und Dozenten: Bonhöffer, E. Fischer, Fleischmann, Franz, Friedrichsen, Grawitz, O. Hertwig, Hartmann, Heffter, Hildebrand, Jaekel, Kallius, Kraus, Krömer, Lange, Löffler, Marckwald, Meyer, Minot, Morgenroth, Nernst, Nöggerath, Pels-Leusden, Riehl, Rosenheim, Römer, Rubens, Rubner, F. E. Schulze, Straub, Virchow, Waldeyer.

Mit wissenschaftlichen Arbeiten war ich beschäftigt: an der Chemischen Abteilung (Professor Lockemann) des Königlichen Instituts für Infektionskrankheiten „Robert Koch“ in Berlin und am Physiologischen Institut der Universität Greifswald (Geheimrat Bleibtreu), ferner als Hilfsassistent an der Chemischen Abteilung (Professor Steudel) des Physiologischen Instituts der Universität Berlin und von 1913 bis zum Ausbruch des Krieges als Assistent am Hygienischen Institut der Universität Freiburg i. B. (Direktor: Professor M. Hahn).

Allen genannten Herren, insbesondere meinem hochverehrten Lehrer, Herrn Professor M. Hahn, spreche ich meinen ehrerbietigsten Dank aus; für die freundliche und tatkräftige Unterstützung der

vorliegenden Arbeit sage ich Herrn Professor Abderhalden meinen besten Dank.

Bisher veröffentlichte ich:

„Bemerkungen zum zweiten Wärmesatz.“ Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft 1913. p. 364.

„Über erste Anwendungen des elektrischen Stromes zu Heilzwecken.“ Berliner Klinische Wochenschrift 1917. Nr. 2.

Im August 1914 trat ich als Kriegsfreiwilliger in das Deutsche Heer ein und befand mich als Arzt bei verschiedenen Truppenteilen bis zum Mai 1916 an der Westfront im Felde.

Pierersche Hofbuchdruckerei Stephan Geibel & Co. in Altenburg.